



TRABALHO FINAL MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA

Clínica Universitária de Otorrinolaringologia

A adaptação do Sistema Neurovestibular em condições de microgravidade

Miguel Santos Pinheiro

JUNHO'2019



TRABALHO FINAL MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA

Clínica Universitária de Otorrinolaringologia

A adaptação do Sistema Neurovestibular em condições de microgravidade

Miguel Santos Pinheiro

Orientado por: Dr. Marco Simão

JUNHO'2019

RESUMO

O equilíbrio é algo que damos como garantido no dia-a-dia e é absolutamente essencial à Vida Humana na Terra como a conhecemos. Do mesmo modo que outras funções vitais são intrinsecamente controladas por Sistemas Centrais, o equilíbrio é regulado e controlado pelo Sistema Neurovestibular, com componentes do Sistema Nervoso Central e Sistema Nervoso Periférico (nervo vestibular e vestíbulo no Ouvido Interno). E tal como este pode ser melhorado através da prática de determinados exercícios (enhancement), também pode ser comprometido por várias patologias.

Após uma revisão de um conjunto relevante de artigos sobre a anatomia e a patologia do Sistema Neurovestibular, tentou perceber-se de que maneira este se adapta nos astronautas em condições de microgravidade, como é o caso das estações espaciais.

Quando o Sistema Neurovestibular é afectado surgem as vertigens, uma sensação desagradável e incapacitante. Estas patologias são estudadas e tratadas na área da Otorrinolaringologia. Entre causas periféricas para estes sintomas encontram-se a labirintite, a vertigem paroxística posicional benigna e o síndrome de Ménière. Como causa centrais destacamos os tumores, as doenças neurodegenerativas e as cerebrovasculares.

Com o aquecimento global, o investimento nas novas tecnologias espaciais e o instinto de sobrevivência da espécie humana, a colonização de novos planetas é um assunto que está na ordem do dia. Por isso mesmo, é natural que se tente perceber cada vez melhor como se adapta o ser humano em condições extra-terrestres.

Palavras-chave: neurovestibular, microgravidade, equilíbrio, vertigens

O Trabalho Final exprime a opinião do autor e não da FMUL.

ABSTRACT

Balance is something we take for granted on a daily bases and it's absolutely essential to Human Life on Earth as we know it. The Neurovestibular System is the main system responsible for our balance and it's composed by parts of the Central Nervous System as well as by parts of the Peripheral Nervous System (vestibular nerve and vestibulum on the Inner Ear). Balance can be enhanced by certain exercises but it can also be damaged by several diseases.

After a revision of a relevant amount of scientific articles about the anatomy and pathology of the Neurovestibular System, we tried to understand how it can adapt to microgravity environments such as space stations on astronauts.

When the Neurovestibular System is affected, dizziness can occur, an unpleasant and incapacitating sensation. These diseases are studied and treated in Otorhinolaryngology. Some of the peripheral causes for this symptom are labyrinthitis, benign paroxysmal positional vertigo and Ménière's disease. The most common Central Nervous System causes are tumours, neurodegenerative and cerebrovascular diseases.

With global warming, investment in new spacial technologies and the Human survival instinct, the colonization of new planets is an emerging topic. And for that reason, the number of studies about the adaptation of human life to extraterrestrial conditions are increasing everyday.

Key Words: neurovestibular, microgravity, balance, dizziness

O Trabalho Final exprime a opinião do autor e não da FMUL.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	6
1. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A ANATOMIA DO SISTEMA NEUROVESTIBULAR	7
A. Labirinto ósseo e membranoso	7
B. Células ciliares	8
C. Utrículo e sáculo	9
D. Canais semicirculares	10
E. Gânglio vestibular	10
2. PATOLOGIA DO SISTEMA NEUROVESTIBULAR	13
A. Vertigem Paroxística Posicional Benigna	14
B. Doença de Ménière	15
C. Labirintite	16
3. ADAPTAÇÃO DO SISTEMA NEUROVESTIBULAR EM CONDIÇÕES DE MICROGRAVIDADE	17
CONCLUSÃO	23
AGRADECIMENTOS	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

INTRODUÇÃO

O equilíbrio é essencial para o ser humano e o principal sistema fisiológico responsável pela sua regulação e manutenção é o Sistema Neurovestibular. Porém, um conjunto de sistemas contribui para que nos consigamos equilibrar, manter o foco visual com o movimentar da cabeça e até ter noção da posição da nosso corpo, a propriocepção [1]. Assim, a manutenção do estado de equilíbrio resulta da acção de diferentes sistemas incluindo a via óptica, a via proprioceptiva, assim como os reflexos vestibulo-oculares e vestibulo-espinhais.

O Sistema Neurovestibular é constituído por uma parte do Sistema Nervoso Periférico (ouvido interno, nervos e gânglios vestibulares) e por uma parte do Sistema Nervoso Central. Quando este sistema é afectado, surge o desequilíbrio, as vertigens e, associados a estas, as cefaleias, náuseas, incapacitação e quedas.

Existem muitas outras causas para as vertigens, entre as quais causas centrais orgânicas, psiquiátricas, medicamentosas, entre outras [9]. É relevante perceber em que contexto surgem as vertigens uma vez que estão presentes em 15 a 20% da população, sobretudo mulheres e idosos [10].

Mas, o verdadeiro ênfase deste trabalho foi perceber como se adapta o Sistema Neurovestibular em condições de microgravidade, como nas estações espaciais. Fala-se em microgravidade porque, apesar de não parecer, existe sempre uma pequena influência da força da gravidade, uma vez que estas estações estão apenas a poucas centenas de quilómetros da superfície terrestre. Os sintomas de “mal-estar espacial” foram descritos pela primeira vez em 1961 por Gherman Titov e passam por vertigens, náuseas, cefaleias e letargia. [10]

O trabalho foi organizado da mesma forma que esta introdução. Primeiro é abordada a anatomia do Sistema Neurovestibular. De seguida são abordadas as três causas otológicas mais comuns de vertigens. E, finalmente, é discutido o que acontece ao equilíbrio nas estações espaciais. Para a realização deste trabalho, foram consultados vários artigos, publicações e *sites* na internet que se encontram citados nas referências bibliográficas. Foram usadas motores de busca como o PubMed, UptoDate e Medscape.

1. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A ANATOMIA DO SISTEMA NEUROVESTIBULAR

O Sistema Neurovestibular é essencial ao equilíbrio, movimento, postura e coordenação visual. Os núcleos vestibulares no tronco cerebral e no cerebelo, juntamente com o córtex integram a informação sensorial dos órgãos vestibulares periféricos, do aparelho visual e sistema proprioceptivo contribuindo para a orientação espacial e equilíbrio, assim como para a correcta percepção visual e estabilidade da imagem durante o movimento [1]. O Sistema Neurovestibular divide-se na porção periférica (ouvido interno e nervos e gânglios vestibulares) e central. Na Figura 1, apresenta-se um esquema da anatomia do ouvido interno.

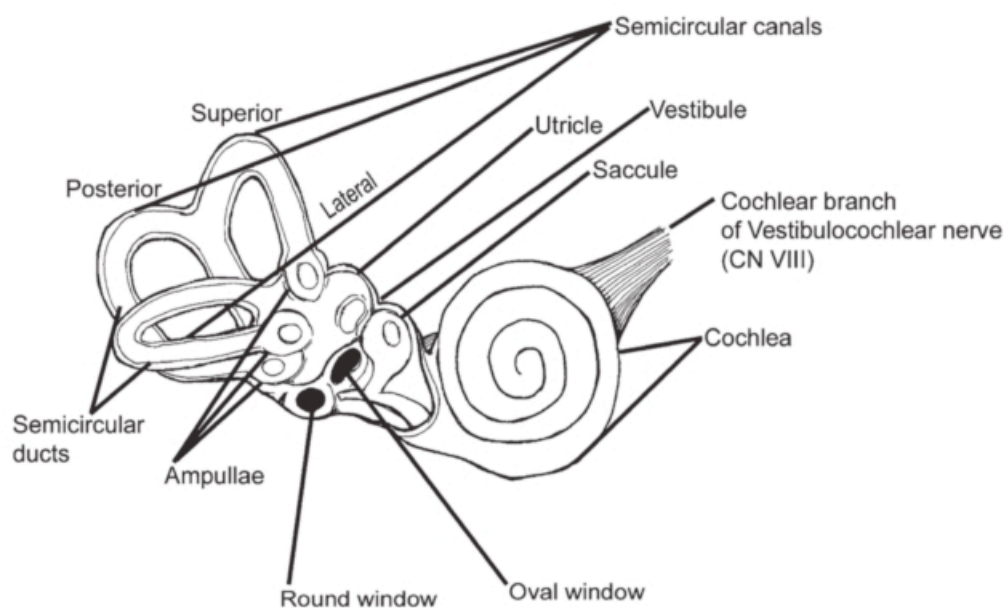


Figura 1. Anatomia do ouvido interno. In S. Khan and R. Chang / Anatomy of the vestibular system. NeuroRehabilitation 32 (2013)

A. Labirinto ósseo e membranoso

O labirinto ósseo é constituído pela cóclea, vestibulo e canais semicirculares. Neste circula a perilinfa, um líquido semelhante ao líquido cefaloraquidiano e que comunica com este [2]. A perilinfa é drenada pelos canais perilinfáticos para o espaço subaracnoideu adjacente [3].

O labirinto membranoso tem o epitélio sensorial e é constituído pelo utrículo, sáculo, ductos semicirculares lateral, superior e posterior. O utrículo e o sáculo estão contidos no vestibulo e os

ductos estão contidos nos canais semicirculares, pelo que, o labirinto membranoso está contido no labirinto ósseo. Neste circula a endolinfa, com composição semelhante ao fluido intracelular e produzida pelos capilares da parede do ducto coclear [3].

Ambos os labirintos estão localizados no rochedo do temporal.

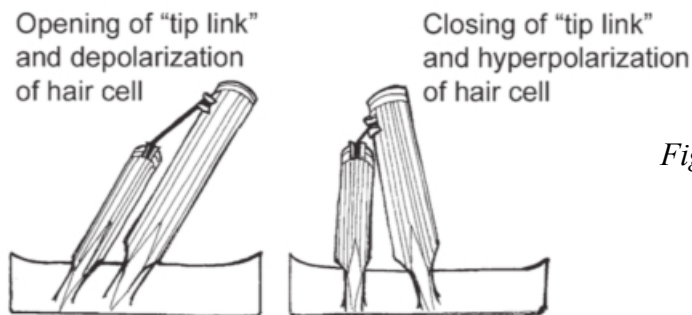
B. Células ciliares

Há dois tipos de células ciliares. As tipo I são vocacionadas para movimentos mais irregulares enquanto que as tipo II, que constituem a grande maioria, são vocacionadas para movimentos mais regulares [3].

Há, também, dois tipos de epitélio neurosensorial no aparelho vestibular: a mácula e a crista ampullaris. Ambos têm células ciliadas contendo um quinocílio na extremidade apical seguido de 70 a 100 estereocílios [4]. O quinocílio é imóvel. Os estereocílios estão organizados do mais comprido para o mais curto e são compostos por filamentos de actina e miosina [5]. Os “tip links” são ligações entre a extremidade apical de um estereocílio ao corpo do estereocílio maior adjacente [5].

Se, com o movimento da cabeça, os estereocílios se movimentarem em direção ao quinocílio, há uma abertura da “tip link” e consequentemente uma abertura dos canais de K^+ provocando um influxo de K^+ resultando na despolarização da célula. Com isto, abrem-se também os canais de Ca^{++} , havendo um influxo de Ca^{++} que estimula a libertação de neurotransmissores na fenda sinática com o nervo vestibular [1].

Se, pelo contrário, com o movimento da cabeça, os estereocílios se afastam do quinocílio, há um encerramento da “tip link” e consequentemente um encerramento dos canais de K^+ , provocando uma hiperpolarização da célula ciliada que, por sua vez, encerra também os canais de Ca^{++} levando a que não haja estimulação do nervo vestibular [1]. Estes movimentos ciliares estão esquematizados na Figura 2.

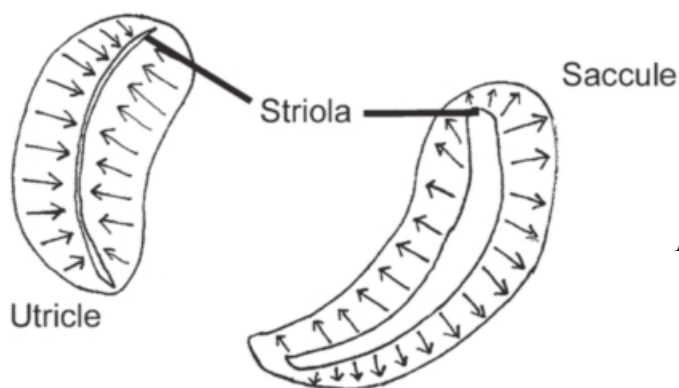


*Figura 2. “tip links” In S. Khan and R. Chang /
Anatomy of the vestibular system.
NeuroRehabilitation 32 (2013)*

C. Utrículo e sáculo

Estas duas estruturas dão-nos a percepção da orientação da nossa cabeça no espaço. Respondem à aceleração, inclinação da cabeça e forças gravitacionais. Ambos têm neuroepitélio do tipo mácula. O utrículo percebe os movimentos num plano horizontal e o sáculo percebe os movimentos num plano vertical.

Em contacto com a mácula, está uma substância gelatinosa com cristas de carbonato de cálcio, os otólitos. A estríola é uma área curvilínea (fina no utrículo e larga no sáculo). Os cílios estão orientados na direção da estríola no utrículo e na direção oposta à estríola no sáculo, como se percebe na Figura 3,



*Figura 3. Utrículo e Sáculo. In S. Khan and R. Chang / Anatomy of the vestibular system.
NeuroRehabilitation 32 (2013)*

Passado algum tempo da cabeça inclinar, os potenciais de membrana voltam ao normal para poderem ser estimulados ainda mais se necessário.

D. Canais semicirculares

Os ductos semicirculares, localizados dentro dos canais homónimos, são os responsáveis pela percepção de aceleração angular e rotação da cabeça e formam ângulos rectos entre eles [6]. Estes ductos vão terminar no utrículo. Na extremidade distal de cada ducto existe a ampola constituído por neuroepitélio do tipo crista ampullaris (histologicamente semelhante à mácula). Aqui encontra-se a cúpula, uma substância gelatinosa mais densa que a da mácula e sem otólitos. Os quinocílios dos ductos laterais estão orientados em direção ao utrículo enquanto que nos restantes ductos estão orientados para o próprio ducto.

Aceleração rotacional dobra os cílios na direção oposta. Quando a velocidade rotacional é constante, o potencial de membrana normaliza-se. Se um ducto é excitado, o par contralateral é inibido. Uma vantagem da existência de pares contralaterais é o “common mode rejection”, ou seja, a estimulação simultânea dos dois ductos que formam um par é anulada. Isto pode acontecer em situações de febre. A Figura 4 mostra como estão organizados os pares de canais semicirculares neste contexto.

Right Superior	Left Posterior
Left Superior	Right Posterior
Left Horizontal	Right Horizontal

Figura 4. Pares dos canais semicirculares contralaterais. In S. Khan and R. Chang / Anatomy of the vestibular system. NeuroRehabilitation 32 (2013)

E. Gânglio vestibular

Também conhecido como gânglio de Scarpa, o gânglio vestibular localiza-se na porção lateral do canal auditivo interno. Recebe aferência da mácula e da crista ampullaris e está dividido numa parte superior e numa parte inferior, ligadas por um istmo [7]. É composto por cerca de 20000 células bipolares.

F. Nervo vestibular

Os axónios que emergem do gânglio vestibular formam o nervo vestibular. Este junta-se ao nervo auditivo para formar o nervo vestibulococlear. Este nervo atravessa o canal auditivo interno juntamente com o nervo facial (VII) e a artéria labiríntica. O nervo vestibulococlear (VIII) entra no tronco cerebral ao nível da junção ponto-medular.

Aqui, o nervo coclear separa-se do vestibular e a maioria das fibras do nervo vestibular deslocam-se para o complexo nuclear vestibular homolateral na ponte, as restantes projectam-se para o lobo floculo-nodular do cerebelo e adjacente cortex vermeriano.

Não está ainda bem identificada a área do cortex responsável por receber as aferências vestibulares, mas pensa-se que seja parte do cortex parietal e insular. Também se pensa que existam conexões vestibulares no tálamo e hipocampo.

F. Reflexos vestibulo-ocular e vestibulo-espinhal

O reflexo vestibulo-ocular coordena os movimentos oculares de modo a estabilizar a imagem durante a rotação da cabeça. Os músculos extra-oculares provocam um movimento ocular conjugado na direção oposta à rotação da cabeça [8]. É um arco reflexo que envolve três neurónios. Se a velocidade da rotação da cabeça e dos movimentos oculares não for a mesma, input do lobo floculo-nodular é enviado aos núcleos vestibulares para corrigir essa discrepância [1]. A Figura 5 esquematiza este mesmo reflexo.

O reflexo vestibulo-espinhal é essencial para a manutenção da postura e equilíbrio e envolve aferências da mácula, crista ampullaris, sistema visual, músculos esqueléticos e eferências para os neurónios motores da espinal medula cervical. Ainda não se conhecem exactamente as vias responsáveis por este reflexo [2].

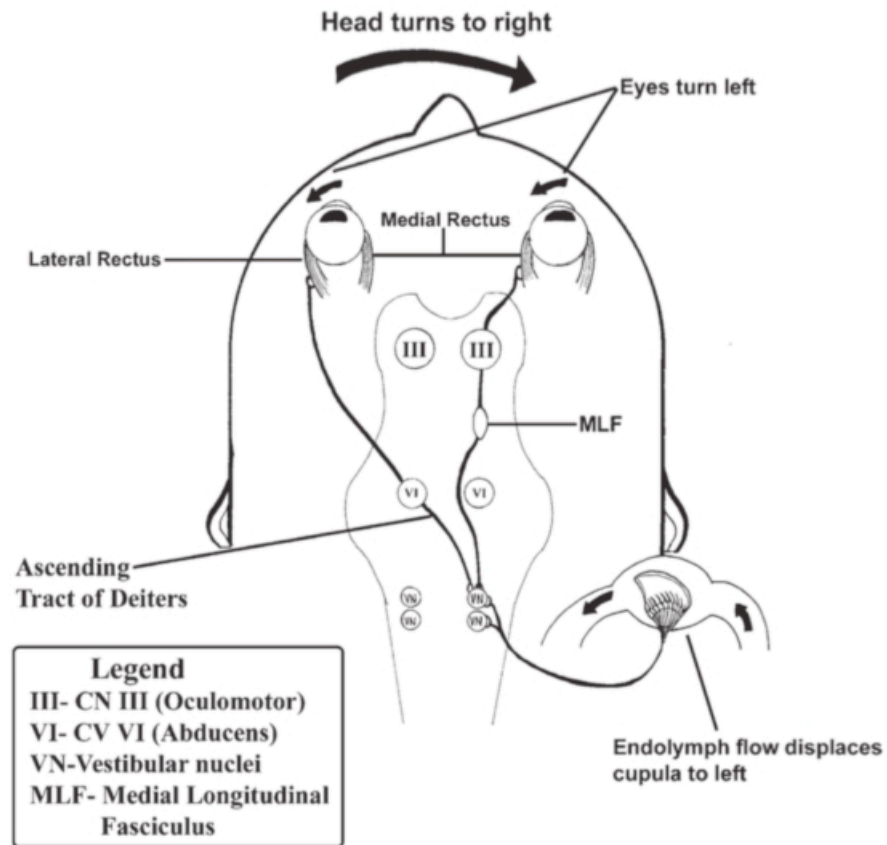


Figura 5. Reflexo vestibulo-ocular. In S. Khan and R. Chang / Anatomy of the vestibular system.

NeuroRehabilitation 32 (2013)

2. PATOLOGIA DO SISTEMA NEUROVESTIBULAR

Vertigem é certamente o sintoma mais comum associado ao Sistema Neurovestibular e é descrita como a sensação de “ver as coisas a andar à roda” ou “parecer que a pessoa anda à roda”, sendo verdadeiramente incomodativo e incapacitante [9]. Estima-se que entre 15 a 20% da população adulta tenha alguma forma de vertigens, principalmente mulheres e idosos [10].

As causas de tontura são variadíssimas. Podem ser causas otológicas, neurológicas, cardiovasculares, psiquiátricas, entre outras. Na seguinte tabela resumem-se algumas dessas causas.

Table 1 Causes of dizziness	
Cause	Mean Frequency (%)
Peripheral vestibular	44
Benign paroxysmal positional vertigo	16
Labyrinthitis	9
Meniere disease	5
Other (drug-related ototoxicity or nonspecific)	14
Central vestibular	11
Cerebrovascular	6
Tumor	<1
Other (multiple sclerosis, migraine, or other)	3
Psychiatric	16
Psychiatric disorder	11
Hyperventilation	5
Nonvestibular, nonpsychotic	26
Presyncope	6
Disequilibrium	5
Other (anemia, metabolic, drug-related, Parkinson, and other)	13
Unknown	13

Tabela 1. Causas de vertigens. A soma ultrapassa os 100% porque nalguns doentes podem coexistir várias causas. In Kroenke K, Hoffman RM, Einstadter D. How common are various causes of dizziness? South Med J (2000)

Estudos recentes mostram que as características da tontura em si podem ser menos informativas do que saber quando surgem, a frequência e os triggers [9].

Faz parte da avaliação básica no exame objectivo a pesquisa de nistagmo patológico (quando a causa é periférica, a fase rápida do nistagmo aponta para o ouvido saudável), a otoscopia, a prova de Weber e de Rinne (para distinguir surdez de condução da surdez neurosensorial) e a prova de Romberg.

Dentro dos distúrbios do ouvido interno, destacam-se a vertigem paroxística posicional benigna (VPPB), a doença de Ménière e a labirintite.

A. Vertigem Paroxística Posicional Benigna

A VPPB é a causa mais comum de vertigens com uma prevalência entre 10,7 a 64 casos em cada 100.000. Estas vertigens geralmente duram menos de 1 minuto e estão relacionadas com alterações na posição da cabeça do doente. Podem ser acompanhadas de náuseas e vômitos. O pico de idades de início da VPPB é entre os 50 e os 60 anos e as mulheres são 2 a 3 vezes mais afectadas que os homens [11].

De facto, tem-se observado uma associação entre VPPB e osteoporose, assim como níveis baixos de vitamina D. A etiologia desta doença passa pela passagem de otólitos do utrículo para os canais semicirculares, nomeadamente, em 60 a 90% dos casos, para o canal semicircular posterior [12]. No entanto estima-se que este número possa estar sobreestimado uma vez que os casos que envolvem o canal semicircular horizontal podem reverter rapidamente antes de ser feito o diagnóstico [13]. Raramente o canal semicircular anterior é afectado dada a sua posição [14].

O número médio de dias em que os sintomas desaparecem sem tratamento é de 7 dias quando o canal horizontal é afectado e 17 dias quando é o canal posterior o afectado [15]. Contudo, usam-se manobras da ORL para uma recuperação mais rápida, eventualmente medicação para as náuseas e, só em casos refractários, a cirurgia.

Na seguinte tabela, descreve-se como é feito o diagnóstico e o tratamento da VPPB de acordo com o canal semicircular afectado.

Location in Semicircular Canal	Diagnosis			Treatment	
	Maneuver	Method	Induced Nystagmus	Repositioning Maneuver	Method
Posterior semicircular canal	Dix–Hallpike	With head turned to one side at angle of 45 degrees, patient is moved from sitting position to supine position, with head hanging below examination table	Upbeat and ipsiversive torsional*	Epley's maneuver	After performance of Dix–Hallpike maneuver, head is turned 90 degrees toward unaffected side; head is then turned another 90 degrees, and trunk is turned 90 degrees in same direction, so that patient lies on unaffected side with head pointing toward the floor; patient is then moved to sitting position
	Side-lying	Patient is quickly placed on the side with affected ear with head turned 45 degrees in opposite direction	Upbeat and ipsiversive torsional*	Semont's maneuver	Patient is swung rapidly, through 180-degree cartwheel-like motion, from lying on the side with affected ear to lying on the side with unaffected ear
Horizontal semicircular canal					
Geotropic	Supine head roll	Head is turned approximately 90 degrees to each side while patient is in supine position	Geotropic (beats toward the ground)	Barbecue rotation	Head is rotated in three 90-degree increments, for a total of 270 degrees, from affected ear down, to supine, to unaffected ear down, to prone
				Gufoni's maneuver	Patient lies on the side with unaffected ear for 1–2 minutes; head is then rotated 45 degrees in downward direction; patient then assumes sitting position
				Forced prolonged position	The patient lies with the unaffected ear down for approximately 12 hours
Apogeotropic	Supine head roll	Head is turned approximately 90 degrees to each side while patient is in supine position	Apogeotropic (beats toward the ceiling)	Gufoni's maneuver	Patient lies on the side with affected ear for 1–2 minutes; head is then rotated 45 degrees in upward position; patient then assumes sitting position
				Head-shaking	Head is shaken from side to side at approximately two cycles per second for 15 seconds

* In ipsiversive nystagmus, the upper pole of the eyes beats toward the side of the affected (lower) ear.

† If the apogeotropic type of benign paroxysmal positional vertigo is converted to the geotropic type, treatment for the geotropic type should be provided.

Tabela 2. Diagnóstico e tratamento da VPPB dependendo do canal afetado. In Kroenke K, Hoffman RM, Einstadter D. How common are various causes of dizziness? South Med J (2000)

B. Doença de Ménière

A doença de Ménière pode causar vertigens, perda auditiva flutuante, acúfenos e sensação de pressão no ouvido. Pode ser acompanhada de cefaleias. A etiologia desta doença é multifatorial. Um sinal característico é a hidrópsia endolinfática no ouvido interno, que danifica as células ganglionares [16].

Surge normalmente na meia idade, com picos de incidência entre os 40 e os 50 anos, como documentado na Figura 6. Apenas 10% dos doentes com Doença de Ménière são diagnosticados acima dos 65 anos [17].

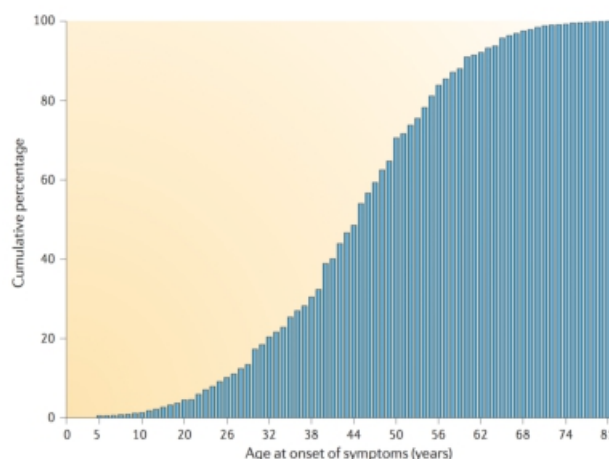


Figura 6. Idade acumulada do início dos sintomas na Doença de Ménière. In Tsutomu Nakashima et al (Maio 2016) Meniere's disease. Nature reviews.

A primeira linha de tratamento é conservador e prevenção das quedas. Quando estes falham, pode ser necessário uma injeção intratimpânica de gentamicina ou uma cirurgia descompressiva do saco endolinfático.

Na seguinte tabela, encontram-se elencados os critérios de diagnóstico para Doença de Ménière.

Definite Meniere's disease
• At least two spontaneous episodes of vertigo, each lasting from 20 minutes to 12 hours
• Audiometrically documented low-frequency to medium-frequency sensorineural hearing loss in one ear, defining the affected ear on at least one occasion before, during or after one of the episodes of vertigo
• Fluctuating aural symptoms (hearing, tinnitus or fullness) in the affected ear
• Not better accounted for by another vestibular diagnosis
Probable Meniere's disease
• At least two episodes of vertigo or dizziness, each lasting from 20 minutes to 24 hours
• Fluctuating aural symptoms (hearing, tinnitus or fullness) in the affected ear
• Not better accounted for by another vestibular diagnosis

Tabela 3. Critérios de diagnóstico para Doença de Ménière (2015). Traduzido de Tsutomu Nakashima et al (Maio 2016) Meniere's disease. Nature reviews. Disease Primers

C. Labirintite

A labirintite afecta cerca de 3,5 em cada 100.000 pessoas [18; 19]. A causa mais comum é a reactivação do vírus Herpes Simplex tipo 1 (HSV-1), tendo já sido verificada a existência de DNA e RNA do HSV-1 nos gânglios vestibulares dos doentes com labirintite [20].

É um diagnóstico de exclusão e o tratamento em fases precoces com metilprednisolona durante 3 semanas têm uma taxa de recuperação de 62% em 12 meses, apesar de, muitas vezes, esta recuperação não ser completa. Estudos demonstraram não haver benefício na toma concomitante de acyclovir [21]. Para além disso, pode ser dado feito um tratamento sintomático anti-emético no máximo durante os primeiros 3 dias. Pode também ser feita fisioterapia para ajudar na recuperação.

A clínica da labirintite é uma vertigem com início súbito que dura vários dias, nistagmo horizontal com direção para o ouvido saudável, náuseas, vômitos e tendência para quedas do lado do ouvido afectado.

3. ADAPTAÇÃO DO SISTEMA NEUROVESTIBULAR EM CONDIÇÕES DE MICROGRAVIDADE

A evolução da nossa espécie sempre foi feita no sentido de nos adaptarmos à realidade na Terra, nomeadamente à força gravítica de 1 G, como é perceptível pela análise da Figura 4. O nosso organismo não tem receptores de gravidade, apenas a deduz com base na informação dada pelos vários sistemas como o Neurovestibular, cerebelo, sistema visual e o sistema proprioceptivo. Chama-se a isto gravicepção [22]. Uma questão levantada por vários grupos tem sido como seria a evolução e crescimento do ser humano se nunca tivesse sido exposto à força gravítica. Sabe-se que, no ser humano, os órgãos vestibulares começam a desenvolver-se na 2ª semana de gestação e terminam na 4ª semana de vida [23].

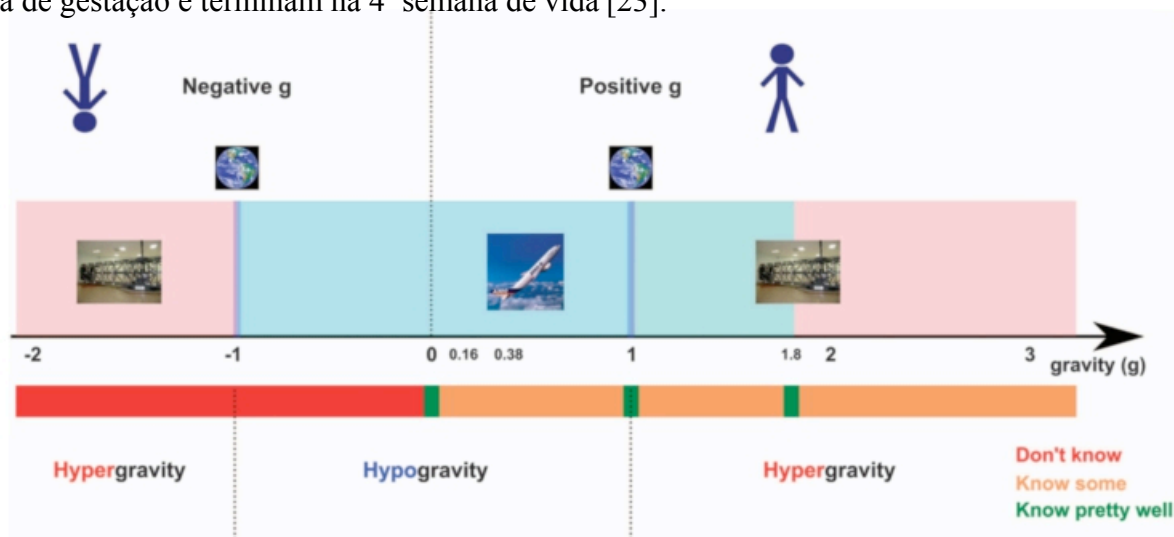


Figura 7. Conceitos de hipo e hipergravidade. In Olivier White et al (Agosto 2016)

Towards human exploration of space: the THESEUS review series on neurophysiology research priorities

** As centrífugas podem ser usadas para explorar as zonas vermelhas e voos parabólicos podem ser usados para explorar a zona azul. Dos 1 G aos 1,8 G ambos podem ser usados.*

Nas missões espaciais, a tripulação fica praticamente privada de gravidade e, por isso, os astronautas sentem frequentemente alguns sintomas desagradáveis que serão descritos de seguida. Na verdade, as estações espaciais não são um sistema com ausência de gravidade. Dado estarem a poucas centenas de quilómetros da superfície terrestre, dá-se o nome de microgravidade.

Mais especificamente, a Estação Espacial Internacional (EEI) orbita a Terra a sensivelmente 402 quilómetros de altitude a sensivelmente 28.000 km/h, o que significa que dá uma volta à Terra a cada 90 minutos. A primeira parte da EEI foi lançada em 1998 e em 2000 chegou a primeira tripulação [24]. Missões anteriores à EEI como a STS-40 (Spacelab-1), STS-58 (Spacelab-2) e STS-90 (Neurolab) ajudaram a perceber o pouco que já se sabe sobre a adaptação do ser humano em condições de microgravidade.

Nas missões espaciais, os astronautas podem sentir sintomas como desorientação espacial, cefaleias, sudorese, ilusões visuais, desequilíbrio, náuseas e vômitos e alterações sensitivo-motoras. Dá-se a isto o nome de “Space Motion Sickness” e afecta 80 a 90% dos tripulantes, normalmente de intensidade baixa a moderada [25]. Estes sintomas aparecem com as transições das forças G e permanecem algum tempo até o organismo se adaptar a esta nova realidade. Ao regressar à Terra, os astronautas sentem esses mesmos sintomas. Não esquecer que a desorientação é a causa de 1/4 dos acidentes de aviação civil. Esta “Space Motion Sickness” costuma durar alguns dias. Não é possível prever quem são os astronautas que vão sentir estes sintomas, sabe-se sim que quanto mais missões tiver feito o astronauta, menos ele sofre. No entanto, não há relação entre estes enjoos e quem enjoa no mar ou em viagens de carro, por exemplo. Os astronautas lidam com esta situação tentando movimentar o mínimo possível a cabeça nos primeiros dias e com a toma de anti-eméticos, tanto na estação espacial como no regresso à Terra. A neuroplasticidade é a capacidade que o cérebro tem de alterar a sua estrutura e função para se adaptar a novas condições ou ambientes. Estudos neuroimagiológicos recentes de estadias de longa duração revelam alterações na conexão cerebelo-motora e diminuição das conexões vestibulo-insulares do lado direito [26].

Alguns astronautas chegam a sentir também acrofobia, ou seja, medo de alturas, nomeadamente, de cair em direcção à Terra.

Estes sintomas sentidos pela tripulação podem ser incapacitantes e pôr, inclusivamente, as missões em causa, assim como o próprio equipamento e, logicamente, os próprios astronautas. Para minimizar este risco e para reabilitar os astronautas à vida na Terra no regresso, são feitos treinos pré-missão e reabilitação pós-missão. Os astronautas fazem intervalos de meses a anos entre missões espaciais para fazer um reset aos seus sistemas fisiológicos.

Os astronautas sofrem de sintomas semelhantes quando regressam à Terra. [25] Alguns estudos apontam que a adaptação da microgravidade à gravidade Terrestre é mais difícil que o contrário, mas ainda não se sabe o threshold de microgravidade (e se há ou não) a partir do qual as funções fisiológicas não são maioritariamente reversíveis.

Aquando do regresso à Terra, os objectos parecem mais pesados, os astronautas queixam-se de que parece que estão a empurrar os degraus para baixo ao subir as escadas, sentem dificuldade em baixar-se para apanhar algo, entre outros sintomas vestibulares. Estes sintomas costumam desaparecer após 3 dias na Terra, mas estão descritos flashbacks após semanas do regresso. Quanto mais tempo em microgravidade, maior o tempo de recuperação na Terra [27].

Segundo o estudo de Payne e colaboradores em 2006 [25], estes são os sintomas sentidos pelos astronautas nos primeiros dias após o regresso à Terra:

- 69% - atrapalhão
- 66% - dificuldade em andar em linha recta
- 32% - vertigens a andar
- 29% - vertigens em pé
- 15% - náuseas
- 10% - dificuldade em concentrar
- 8% - vômitos

Em 1997, a NASA desenvolveu um programa de reabilitação [25] para os astronautas após missões longas (mais de 6 meses). Este plano passa por 2 horas diárias de reabilitação nos primeiros 45 dias e é composto por 4 fases:

- fase 0 (1º e eventualmente 2º dias): auxílio na intolerância ortostática
- fase 1 (até ao 4º dia): tempo com família, descanso, suporte psicológico, ajuste ao ritmo circadiano e prevenção de quedas
- fase 2 (até ao 15º dia): massagens, alongamentos, musculação, exercício aeróbio e hidroterapia
- fase 3 (até ao 45º dia): de volta ao status pré-missão

A “disability” do astronauta pós-missão depende de 3 coisas: adaptação individual à microgravidade, eficácia das medidas de reabilitação e tempo no Espaço. Com permanências cada vez mais demoradas com vista à colonização de Marte (a viagem de ida tem a duração de 9 meses), haver bons planos de reabilitação torna-se cada vez mais importante.

Para além de afectar a parte do equilíbrio e orientação espacial, vários outros sistemas são afectados com a diminuição da força G. Está documentada a atrofia muscular, diminuição da densidade óssea, alterações cardiovasculares e défice cognitivo, nomeadamente nas áreas da memória. Também se questiona actualmente se a radiação ionizante afectará ou não o Sistema Nervoso Central [22]. Há, também, estudos que mostram que os 5 sentidos ficam afectados com estas missões, assim como a coordenação entre os vários sistemas motores, por exemplo, a coordenação olho-mão. Como os movimentos dos membros têm mais inércia que o dos olhos, notam-se mais as alterações motoras dos membros.

Um estudo envolvendo 26 astronautas estudou a sua capacidade de “tracking” visual antes e depois de uma longa estadia na Estação Espacial Internacional (129 a 215 dias) [28]. Concluiu-se que os movimentos oculares espontâneos aumentaram, a função otolítica diminuiu (diminuição da rotação ocular compensatória), a velocidade e amplitude do tracking visual diminuíram, o tempo de reacção aumentou 2 a 3 vezes e a estabilidade do olhar também diminuiu [28].

A privação de sono nos astronautas é outro problema comum e é explicada pelas alterações no ritmo circadiano (ver Figura 8), iluminação, condições psicológicas e, também, pela própria disfunção vestibular. Este défice de sono está relacionado com a diminuição da capacidade de trabalho, alterações no estado de vigília e motivação, doenças neurodegenerativas, imunológicas e endocrinológicas e alterações na memória. [29]

Em microgravidade, dá-se um fenómeno chamado “cephalic fluid shift” (ver Figura 9) que faz com que a Pressão Intracraniana aumente resultando em alterações de oxigenação do cérebro, que explicam as alterações visuais muitas vezes sentidas durante as missões [25].

Sobre a adaptação do sistema cardiovascular em microgravidade, os resultados são contraditórios. Um estudo de Kuniaki Otsuka [29] defende que sensibilidade do baroreflexo é perdida após 3 a 6 meses em microgravidade e o output cardíaco aumenta em 35 a 41%. Documenta-se também uma redução na Pressão Arterial de 8 a 10 mmHg e uma queda das Resistências Vasculares Periféricas em 39%.

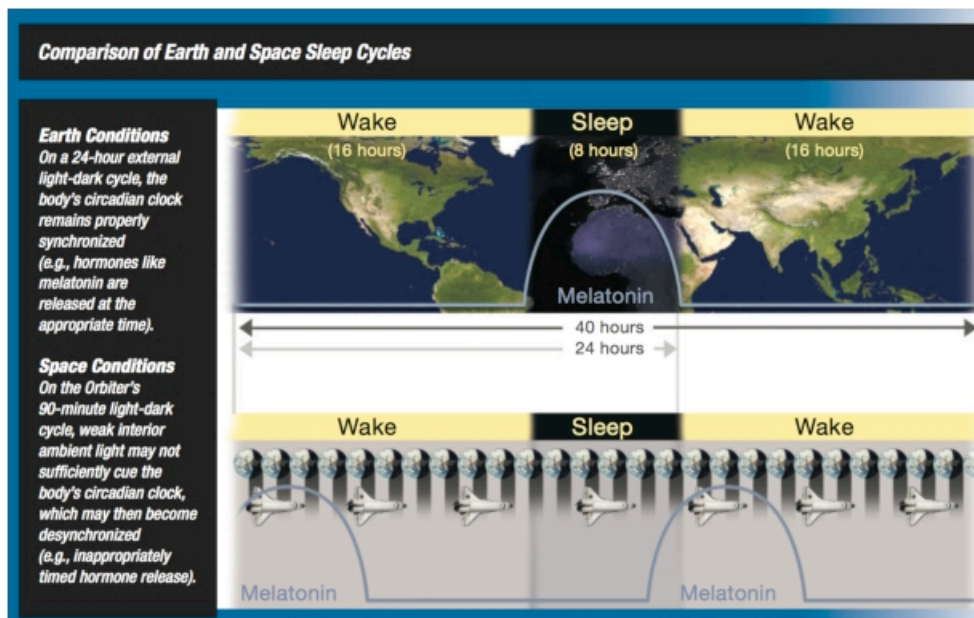


Figura 8. Alteração no ritmo circadiano dos astronautas. In www.nasa.gov

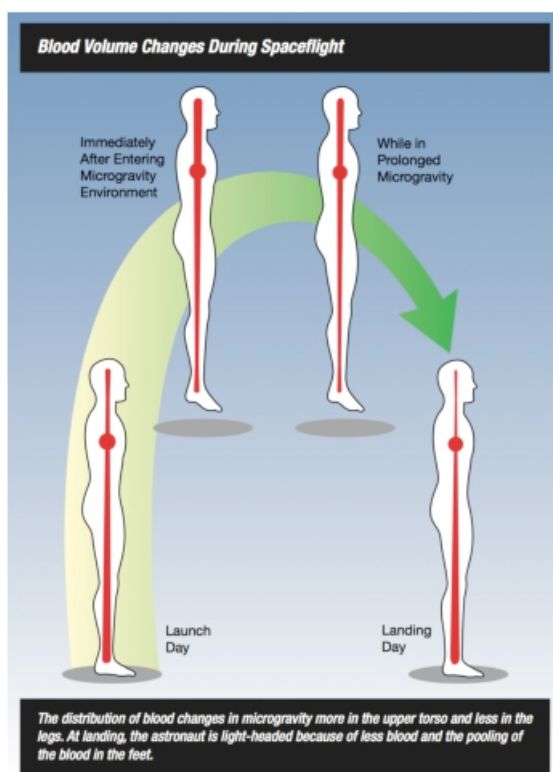


Figura 9. Distribuição do volume sanguíneo no Espaço. In www.nasa.gov

Há, ainda, evidência de que a disfunção vestibular acentua a disfunção cognitiva, daí a designação “space stupids”. Esta disfunção vestibular é explicada pelo conflito entre os sensores de aceleração angular e os de aceleração linear [30, 31]. Ou seja, o cérebro antecipa um outcome com base na informação sensorial que dispõe e não chega a confirmar esse mesmo outcome.

Em suma, são várias as condicionantes que podem afectar os astronautas durante a sua missão espacial. A microgravidade é a mais óbvia, mas entram na equação também a radiação, a iluminação artificial, o isolamento e a ausência de ritmo circadiano.

O acesso a novo conhecimento nesta área tem algumas limitações. Conhecem-se alguns efeitos da ausência (ou quase ausência) de gravidade no nosso organismo, mas não se sabe quais os efeitos da microgravidade e, nomeadamente, das passagens de microgravidade para gravidade Terrestre e vice-versa [32]. Ainda é necessário perceber a partir de que threshold de força G se desenvolvem as alterações fisiológicas. Também, a avaliação pós-missão tem sido feita, na maioria das vezes, após 24 horas do regresso, ou seja, pode já ter havido uma readaptação do organismo à gravidade Terrestre [32, 33]. Recentemente, a NASA e a ROSCOSMOS têm avaliado os astronautas que regressam imediatamente após a aterragem [22].

CONCLUSÃO

O ouvido interno está envolvido em 2 processos fundamentais: o da audição e o do equilíbrio. Ambos são essenciais para a adaptação do ser humano à Vida Terrestre ao nível da sobrevivência. Nesta revisão focámo-nos, numa primeira parte, na anatomia e fisiologia do Sistema Neurovestibular, o grande responsável pelo equilíbrio, assim como nas principais patologias que o envolvem, resultando em vertigens. Numa segunda parte, tentámos perceber como se dá a adaptação do Sistema Neurovestibular dos astronautas no seu treino e durante a sua estadia nas Estações Espaciais, onde se encontram em condições de microgravidade.

São, contudo, necessários mais estudos sensíveis ao nível das forças G para que se perceba que efeitos têm pequenas variações na gravidade no nosso organismo. Ainda são desconhecidos alguns efeitos a longo prazo, daí a necessidade de se começar o quanto antes a documentar e a acompanhar as missões espaciais. Para além disso, os poucos estudos que existem não têm poder estatístico pelo reduzido número de participantes. É preciso perceber-se melhor como actuar para a reabilitação dos astronautas, sendo que este conhecimento pode ser aplicado a doentes acamados durante longos períodos (está provado que podem ser situações semelhantes).

Outra questão que se levanta é como funcionaria o nosso organismo se tivéssemos sido criados desde o início da vida em condições de microgravidade?

É expectável que, cada vez mais, surjam novos estudos sobre a adaptação dos mais variados sistemas humanos a condições que não se encontram na Terra dado que a Vida neste planeta poderá mudar completamente dentro de poucos anos e cada vez mais se investe em tecnologias espaciais com o intuito de colonização extraterrestre, nomeadamente de Marte. O futuro é incerto e toda a evolução dos seres vivos ao longo de milhões e milhões de anos baseou-se nas condições existentes na Terra, quais serão as consequências da microgravidade, a longo prazo, para o Homem?

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Prof. Doutor Óscar Dias forma com que acolheu a minha intenção de realizar a tese em Otorrinolaringologia. Agradeço também pela sugestão que me deu em trabalhar nesta área assim como pelo apoio oferecido ao longo da elaboração do presente trabalho.

À Dra. Mafalda Carvalho e ao Dr. Marco Simão, pela disponibilidade, pela motivação, pela revisão do trabalho e ainda pela ajuda nas fontes bibliográficas que me recomendaram e facultaram.

À minha família mais próxima, os meus pais e a minha irmã, que, ao longo deste trabalho, mas sobretudo, ao longo do curso, me apoiaram sempre e me lembravam nos momentos mais difíceis do porquê de valer a pena todo o esforço ao longo destes 6 anos.

Aos meus amigos, que me fazem crescer como ser humano e que me fazem constantemente questionar os meus pontos de vista sobre o Mundo e a Vida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. Khan and R. Chang / *Anatomy of the vestibular system*. NeuroRehabilitation 32 (2013)
- [2] Hain, T. C., & Helminski, J. O. (2007). Anatomy and Physiology of the Normal Vestibular System. In S.J. Herdman (Ed). Vestibular Rehabilitation. Philadelphia, PA: F.A. Davis Company.
- [3] Mescher, A. L. (2010). Chapter 23. The Eye and Ear: Special Sense Organs. In A.L. Mescher (Ed), Junqueira's Basic Histology: Text & Atlas, 12e. Retrieved August 23, 2012 from <http://www.accessmedicine.com.libproxy2.umdnj.edu/content.aspx?aID=6183263>
- [4] Oghalai, J. S., & Brownell, W. E. (2012). Chapter 44. Anatomy & Physiology of the Ear. In A.K. Lalwani (Ed), CURRENT Diagnosis & Treatment in Otolaryngology—Head & Neck Surgery, 3e. Retrieved August 17, 2012 from <http://www.accessmedicine.com.libproxy2.umdnj.edu/content.aspx?aID=55770441>
- [5] Barrett, K. E., Barman, S. M., Boitano S., & Brooks H.L. (2012). Chapter 10. Hearing & Equilibrium. In K.E. Barrett, S. M. Barman, S. Boitano, H. L. Brooks (Eds), Ganong's Review of Medical Physiology, 24e. Retrieved August 23, 2012 from <http://www.accessmedicine.com.libproxy2.umdnj.edu/content.aspx?aID=56261605>
- [6] Lee, S. C., et al. (2011) Vestibular System Anatomy. Retrieved from: Emedicine.medscape.com/article/883956-overviewaw2aab6c10. Accessed August 30, 2012.
- [7] Tascioglu, A. B. (2005). Brief Review of Vestibular Anatomy and Its Higher Order Projections. Neuroanatomy, 4, 24-27.
- [8] Cullen, K., & Sadeghi, S. (2008) Vestibular System. Scholarpedia, 3(1), 3013. Retrieved from: [http://www.scholarpedia.org/article/Vestibular system](http://www.scholarpedia.org/article/Vestibular_system)
- [9] Sorathia, S., Agrawal, Y., & Schubert, M. C. *Dizziness and the Otolaryngology Point of View*. Medical Clinics of North America (2018)

- [10] Neuhauser HK. the epidemiology of dizziness and vertigo. *Handb Clin Neurol* 2016; 137:67-82
- [11] Ji-Soo Kim, M.D., Ph.D., and David S. Zee, M.D. (Março 2014) Benign Paroxysmal Positional Vertigo. *NEJM*
- [12] Furman JM, Cass SP. Benign paroxysmal positional vertigo. *N Engl J Med* 1999; 341:1590-6.
- [13] McClure JA. Horizontal canal BPV. *J Otolaryngol* 1985;14:30-5.
- [14] Nuti D, Zee DS. Positional vertigo and benign paroxysmal positional vertigo. In: Bronstein A, ed. *Oxford textbook of vertigo and imbalance*. Oxford, England: Oxford University Press, 2013:217-30.
- [15] Imai T, Ito M, Takeda N, et al. Natural course of the remission of vertigo in patients with benign paroxysmal positional vertigo. *Neurology* 2005;64:920-1.
- [16] Tsutomu Nakashima et al (Maio 2016) Meniere's disease. *Nature reviews. Disease Primers*
- [17] Pyykkö, I., Nakashima, T., Yoshida, T., Zou, J. & Naganawa, S. Meniere's disease: a reappraisal supported by a variable latency of symptoms and the MRI visualisation of endolymphatic hydrops. *BMJ Open* 3, e001555 (2013). MRI frequently reveals EH in the monosymptomatic ear.
- [18] Strupp, M. & Brandt T. (2009) Vestibular neuritis. *Seminars in Neurology*
- [19] Sekitani T, Imai Y, Noguchi T, Inokuma T. Vestibular neuronitis: epidemiological survey by questionnaire in Japan. *Acta Otolaryngol Suppl* 1993;503:9–12
- [20] Nadol JB Jr. Vestibular neuritis. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1995;112(1):162–172

- [21] Strupp M, Zingler VC, Arbusow V, et al. Methylprednisolone, valacyclovir, or the combination for vestibular neuritis. *N Engl J Med* 2004;351(4):354–361
- [22] Olivier White et al (Agosto 2016) Towards human exploration of space: the THESEUS review series on neurophysiology research priorities. *NPJ Microgravity*
- [23] Marc Jamon (Fevereiro 2014) The development of vestibular system and related functions in mammals: impact of gravity. *Frontiers in Integrative Neuroscience*
- [24] https://www.nasa.gov/mission_pages/station/main/index.html (Novembro 2018)
- [25] Payne, M. W. C., Williams, D. R., & Trudel, G. (2006). Space Flight Rehabilitation. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, PAP
- [26] Angelique Van Ombergen et al (Janeiro 2017) Spaceflight-induced neuroplasticity in humans as measured by MRI: what do we know so far? *NPJ Microgravity*
- [27] https://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/584739main_Wings-ch5d-pgs370-407.pdf (Novembro 2018)
- [28] Kornilova LN et al (Dezembro 2012) Gaze control and vestibular-cervical-ocular responses after prolonged exposure to microgravity. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*
- [29] Kuniaki Otsuka et al (Julho 2018) Circadian challenge of astronauts' unconscious mind adapting to microgravity in space, estimated by heart rate variability. *Scientific Reports*
- [30] Lawson, B. D., Rupert, A. H., & McGrath, B. J. (2016). The Neurovestibular Challenges of Astronauts and Balance Patients: Some Past Countermeasures and Two Alternative Approaches to Elicitation, Assessment and Mitigation. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 10
- [31] Rachel K. Meeks, Paul M. Bell. (Agosto 2018) *Aerospace, Physiology, Spatial Orientation*. StatPearls

- [32] Demertzi, A. et al. Cortical reorganization in an astronaut's brain after long-duration spaceflight. *Brain. Struct. Funct.* 221, 2873–2876 (2015)
- [33] Andre-Deshays, C. et al. Gaze control in microgravity. 1. Saccades, pursuit, eye-head coordination. *J. Vestib. Res.* 3, 331–343 (1993)
- [34] Berger, M. et al. Pointing arm movements in short- and long-term spaceflights. *Aviat. Space Environ. Med.* 68, 781–787 (1997)